ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: BUDOWNICTWO z. 109 Nr kol. 1735

Karina SZEJA*
Politechnika Śląska, Gliwice

WYKORZYSTANIE OŚRODKA ANALOGOWEGO TAYLORA – SCHNEEBELIEGO DO SYMULACJI WPŁYWÓW EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ NA KOMUNIKACYJNE BUDOWLE ZIEMNE

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania analogowego ośrodka Taylora – Schneebeliego do symulacji wpływów eksploatacji górniczej na nasypy i wykopy w warunkach laboratoryjnych.

USE OF ANALOG GROUND MEDIUM OF TAYLOR – SCHNEEBELI FOR SIMULATION OF MINING EXPLOITATION INFLUENCE ON COMMUNICATION EARTHWORK CONSTRUCTIONS

Summary. The article presents the possibility of using the analog ground medium of Taylor – Schneebeli for simulation of mining exploitation influence on fills and cuts in laboratorial conditions.

1. Wprowadzenie

Obecnie budownictwo komunikacyjne, szczególnie na terenie Śląska, coraz częściej napotyka na problem projektowania, bądź modernizacji komunikacyjnych budowli ziemnych na terenach górniczych. Podziemna eksploatacja górnicza ma wpływ zarówno na nośność i stateczność, jak również na geometrię i niweletę obiektów infrastruktury transportowej, (drogowej i kolejowej) [2,6].

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Kazimierz Kłosek, prof. w Politechnice Śląskiej

Znajomość zjawisk towarzyszących współpracy podłoża górniczego z posadowioną na nim budowlą ziemną umożliwi zaprojektowanie właściwych wzmocnień zarówno podłoża, jak i samej budowli, co pozwoli na ich bezpieczną eksploatację. Monitoring górniczo - budowlany dostarczający wielu danych opisujących deformacje terenu i posadowionej na nim budowli ziemnej jest czasochłonny i kosztowny, pojawia się zatem pytanie: czy podobnych informacji w ramach profilaktyki budowlanej mogą dostarczyć badania laboratoryjne prowadzone na analogowym ośrodku gruntowym.

2. Badania modelowe na analogowym ośrodku Taylora – Schneebeliego

2.1. Cel i zakres badań

Celem przeprowadzonych badań była rejestracja, identyfikacja i analiza procesu deformacji przekroju poprzecznego komunikacyjnych budowli ziemnych (nasypów/wykopów) posadowionych na terenach objętych wpływem podziemnej eksploatacji górniczej. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych na modelach nasypów i przekopów poddanych symulacji podziemnej eksploatacji górniczej, wykorzystując analogowy model podłoża górniczego typu Taylora – Schneebeliego (T-S).

W pierwszym etapie badań przeprowadzono symulację eksploatacji górniczej dla następujących przypadków:

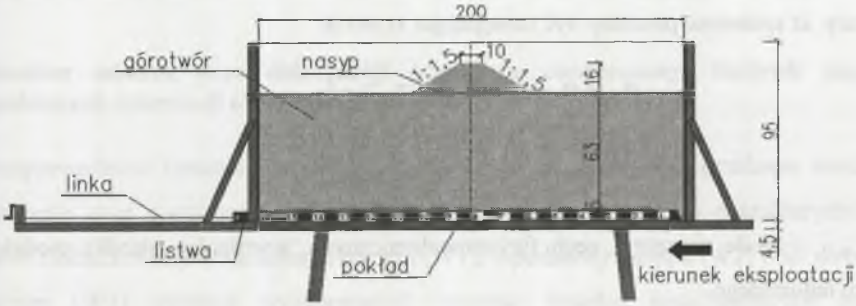
- teren płaski, poziomy nieobciążony korpusem budowli ziemnej,
- teren obciążony nasypem bez zbrojenia w płaszczyźnie jego podstawy,
- teren obciążony nasypem z zastosowaniem zbrojenia w płaszczyźnie podstawy budowli,
- przekop bez wzmocnienia skarp i podstawy, ukształtowany w podłożu górniczym.

Symulacja eksploatacji przeprowadzona dla terenu nieobciążonego budowlą ziemną umożliwiła określenie podstawowych parametrów deformacji ciągłej (takich jak kąt i promień zasięgu wpływów górniczych) powstałej w wyniku eksploatacji.

Przeprowadzone próby umożliwiły rejestrację osiadań całkowitych w i dodatkowych Δw wybranych punktów zlokalizowanych na/w korpusie ziemnych budowli oraz wyznaczenie poziomych przemieszczeń u i odkształceń jednostkowych podłoża ε i współpracującej z nim budowli.

2.2. Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono wykorzystując analogowy model gruntu T-S. Dla każdego wyżej wymienionego przypadku na stanowisku badawczym zbudowano w skali 1:50 model górotworu oraz posadowionej na nim budowli ziemnej (rys.1.). Dla każdej próby przyjęto model nasypu o rzeczywistej szerokości korony 5,00 m oraz wysokości (w przypadku przekopu - głębokości) 8,00 m i nachyleniu skarp 1:1,5. Ze względu na ograniczony rozmiar stanowiska badawczego przyjęto górotwór o niewielkiej miąższości, co symulowało eksploatację na małej głębokości. Modelowa wysokość pokładu odpowiadała rzeczywistej 2,50 m.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego
Fig. 1. Test stand scheme

Wykonany model wg rys. 1. poddano symulacji eksploatacji górniczej prowadzonej „na zawał", której front usytuowano równolegle do osi podłużnej obiektu liniowego. Takie usytuowanie frontu eksploatacyjnego względem osi obiektu liniowego jest najbardziej niekorzystne, gdyż generuje zarówno redukcję nośności, jak i potencjalnie największą utratę stateczności budowli.

Symulacja „przechodzącego" frontu eksploatacyjnego polegała na stopniowym wyciąganiu listwy (modelowy odpowiednik pokładu eksploatacyjnego) z poziomu podstawy stanowiska badawczego.

2.3. Analogowy model gruntu Taylora – Schneebeliego

Rozpatrywane modele górotworu oraz komunikacyjnych budowli ziemnych wykonano każdorazowo ze stosu składającego się z elektrod bateryjnych o średnicach 4 i 6 mm oraz długości 4,6 cm zmieszanych w proporcji ilościowej 1:1. Tego typu stos poddany został serii

wcześniejszych badań [1, 8] w celu określenia jego podstawowych parametrów fizykomechanicznych. Uzyskane wyniki badań wykazały, że mieszanina regularnych wałeczków ma cechy realnych gruntów sypkich [7]. Należy zaznaczyć, że z uwagi na swe parametry ośrodek ten wykazuje silnie naruszony górotwór po wielokrotnym przejściu podziemnej eksploatacji górniczej. Badania prowadzone przez innych autorów [5] wykazały, że ośrodek typu T-S spełnia wymagania płaskiego stanu odkształceń.

W przypadku analogowego stosu T – S mamy modelowe zadanie mieszane, dla którego powinny być spełnione odpowiednie kryteria podobieństwa modelowego, wyrażające zależności pomiędzy wymiarami, parametrami fizykomechanicznymi oraz naprężeniami w modelu a odpowiadającymi im wartościami rzeczywistymi. Wcześniejsze badania [4] wykazały, iż spełnione powinny być następujące kryteria:

$$\alpha_\sigma = \alpha_\gamma \cdot \alpha_L = 1, \qquad \alpha_\gamma = \frac{\alpha_\sigma}{\alpha_L} \qquad (1)$$
$$\alpha_\varphi = 1$$

gdzie:

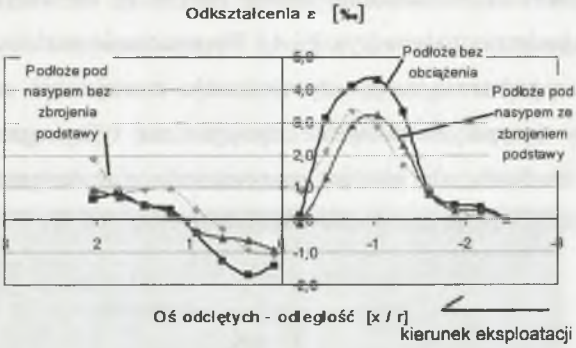
$\alpha_{\sigma, \gamma, \varphi, L}$ – skale naprężeń, cech fizykomechanicznych, wymiarów ośrodka modelowego i gruntu naturalnego.

3. Analiza wybranych wyników badań

3.1. Określenie modelowych parametrów deformacji ciągłej powierzchni

W wyniku przeprowadzonych symulacji zaobserwowano powstanie deformacji ciągłej terenu w postaci niecki obniżeniowej. Fotograficzna rejestracja poszczególnych etapów kształtowania się niecki pozwoliła na określenie promienia zasięgu wpływów górniczych r. Dla modelowanego terenu górniczego wartość *r* wyniosła 44,6 cm. Na podstawie odpowiednich wzorów [3] dla określonej wartości *r* wyznaczono tangens kąta zasięgu wpływów głównych; tg β = 1,4, co stanowi realną wartość dla wybranych rejonów węglowych [3].

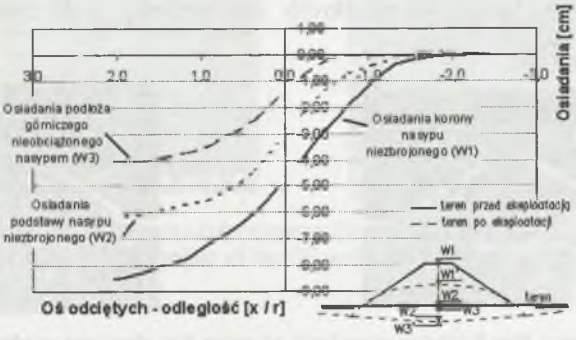
Przeprowadzone badania umożliwiły również wyznaczenie rozkładu poziomych odkształceń rozluźniających ε dla wszystkich modelowanych przypadków (rys. 3). Rozkłady te mają charakter sinusoidalny, podobnie jak rozkład ε wyznaczony wg teorii Budryka – Knothego [3].



Rys. 2. Rozkład poziomych odkształceń rozluźniających dla badanych modeli podłoża i nasypów
Fig. 2. Distribution of horizontal loosening strain for the researched sub-soil and fill models

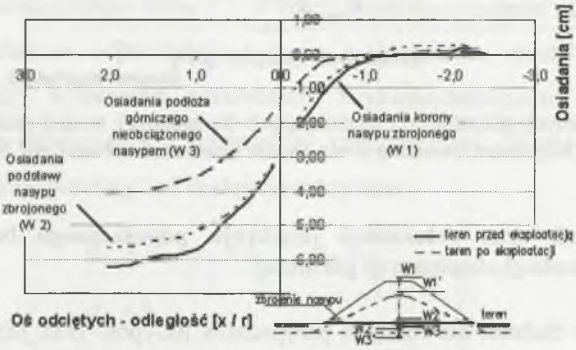
3.2. Analiza osiadań oraz deformacji przekroju poprzecznego budowli ziemnych poddanych symulacji eksploatacji górniczej

Przeprowadzone badania dla różnych przypadków nasypów oraz przekopu umożliwiły wyznaczenie oraz porównanie w skali modelowej wielkości osiadań charakterystycznych punktów zlokalizowanych na koronie nasypu (W1), u podstawy nasypu (W2) oraz na podłożu górniczym (W3). Analiza wyznaczonych wartości osiadań poszczególnych punktów charakterystycznych wykazała, iż w przypadku zarówno nasypu niezbrojonego, jak i zbrojonego osiadania podstawy budowli są znacznie większe od osiadań terenu nieobciążonego nasypem (rys. 3 i 4.). Fakt ten jest bardzo istotny w momencie projektowania niwelety obiektów liniowych na terenach górniczych, gdyż prognozy górnicze dotyczą osiadania terenu nieobciążonego, nie uwzględniają faktu, iż teren ten będzie osiadał znacznie bardziej, jeżeli posadowiona będzie na nim budowla nasypowa.



Rys. 3. Rozkład osiadań korony i podstawy nasypu bez zbrojenia w płaszczyźnie podstawy
Fig. 3. Submergence distribution for crown and base of the fill without reinforcment in base surface

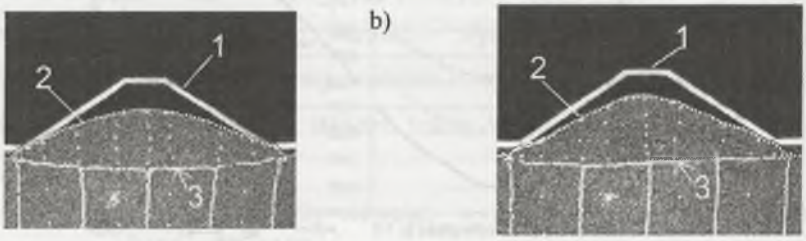
Ponadto zaobserwowano, iż osiadania korony nasypu są we wszystkich przypadkach większe od osiadań podstawy nasypu (rys. 3 i 4.).Wprowadzenie modelowego odpowiednika warstwy zbrojenia w podstawie nasypu spowodowało zmniejszenie całkowitych osiadań korony i podstawy nasypu. Zastosowanie zbrojenia nie tylko ograniczyło możliwość osiadania korpusu budowli, ale również spowodowało równomierne względem siebie osiadanie punktów korony robót ziemnych i podstawy nasypu (rys. 4.).



Rys. 4. Rozkład osiadań korony i podstawy nasypu zbrojonego
Fig. 4. Submergence distribution for crown and base of the fill with reinforcment in base surface

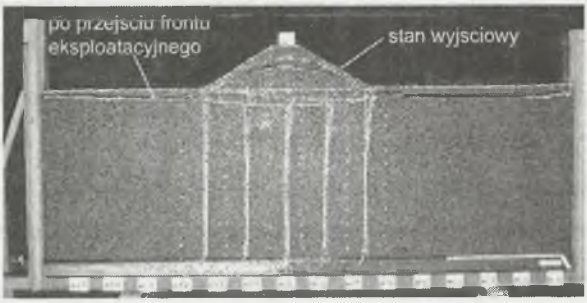
Przeprowadzone badania wykazały również różnicę w zachowaniu przekroju poprzecznego nasypu zbrojonego i niezbrojonego w trakcie i po przejściu eksploatacji górniczej. Na rys. 5. przedstawiono fazę końcową badań (po przejściu eksploatacji pod korpusem budowli). Zaobserwowano, iż geometria przekroju poprzecznego nasypu niezbrojonego uległa całkowitej zmianie (rys. 5a.). Odnotowano nie tylko osiadania korony nasypu, ale również znaczną zmianę nachylenia skarp. Wprowadzenie zbrojenia w płaszczyźnie podstawy nasypu pozwoliło na ograniczenie osiadań korony nasypu oraz umożliwiło zachowanie geometrii przekroju poprzecznego o kształcie zbliżonym do projektowanego (rys. 5b.).

a) b)



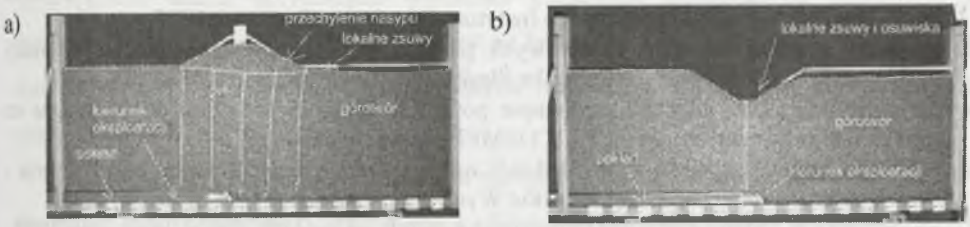
Rys. 5. Przekrój nasypu – faza końcowa symulacji: a) nasyp bez zbrojenia w płaszczyźnie podstawy; b) nasyp zbrojony. 1 – stan wyjściowy, 2 – stan po eksploatacji, 3 – podstawa nasypu
Fig. 5. Fill cross-section – end phase of the simulation: a) fill without reinforcment in base surface; b) fill with reinforcment in base surface. 1 – initial phase, 2 – after the exploitation phase, 3 – fill basis

Rejestracja fotograficzna wykonana dla kolejnych lokalizacji frontu eksploatacyjnego umożliwiła określenie kolejnych etapów procesu destrukcji komunikacyjnych budowli ziemnych. Możliwe było m.in. wykonanie dla każdego rozpatrywanego przypadku nasypu/wykopu superpozycji poszczególnych etapów eksploatacji, co pozwoliło na obserwację kinematyki podłoża górniczego i posadowionej na nim budowli (rys. 6.)



Rys. 6. Superpozycja początkowej, pośredniej i końcowej fazy symulacji dla nasypu bez zbrojenia
Fig. 6. Initial, middle, end phase superposition for the fill without reinforcment in base surface

Symulacje prowadzone na analogowym modelu gruntu T-S pozwoliły również na porównanie poszczególnych etapów deformacji zachodzącej podczas eksploatacji w nasypach i wykopach. Zaobserwowano, iż w momencie przejścia frontu eksploatacyjnego pod osią nasypu cały korpus budowli uległ przechyleniu, pojawiły się lokalne zsuwy na skarpie nasypu od strony eksploatacji (rys. 7a.). W przypadku wykopu, gdy front eksploatacyjny znajdował się pod osią budowli, deformacji uległa jedynie skarpa pozostająca w obszarze wpływów eksploatacji, geometria skarpy pozostającej poza wpływem pozostała bez zmian (rys. 7b.). Zjawiska te mają istotny wpływ na prognozę obniżeń niwelety trasy drogowej bądź kolejowej.



Rys. 7. Eksploatacja: a) pod osią nasypu niezbrojonego; b) pod osią przekopu
Fig. 7. Exploitation: a) under the centreline of the fill without reinforcment in base surface; b) under the centreline of the cut

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania modelowe ze względu na przyjęte wstępnie założenia upraszczające mają charakter jakościowy. Pozwalają jednak na rejestrację specyficznych zjawisk zachodzących wewnątrz korpusu ziemnej budowli komunikacyjnej posadowionej na terenie górniczym, co w warunkach naturalnych byłoby ze względów realizacyjnych trudne do określenia, szczególnie w przypadku budowli już istniejących. Ponadto, przeprowadzone badania umożliwiły obserwację różnic w procesie deformacji budowli nasypowej i wykopu. Zastosowanie w jednym z badanych modeli zbrojenia w płaszczyźnie podstawy nasypu pozwoliło również na wstępną ocenę skuteczności tego typu zabezpieczenia budowli przed deformacjami spowodowanymi podziemną eksploatacją.

Badania modelowe mogą zatem stanowić wiarygodny materiał jakościowy do badań ziemnych budowli komunikacyjnych w skali technicznej, zmierzających do uodpornienia tych budowli na destrukcyjne oddziaływanie podłoża górniczego

LITERATURA

1. Litwinowicz L., Malcharek K., Kłosek K.: Zastosowanie modelu Schneebeli'ego do badań wpływu poziomych odkształceń podłoża na obiekty powierzchniowe. Prace Komisji Naukowych PAN- Oddz. Katowice, z.1, 1976.
2. Litwinowicz L.: Stateczność skarp budowli ziemnych w warunkach wpływu poziomych deformacji podłoża. Politechnika Lubelska, Lublin 2003.
3. Praca zbiorowa pod red. Kwiatka J.: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych, Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice 1997.
4. Przybyła H.: Teoria badań modelowych podłoża ulegającego wpływom eksploatacji górniczej, Praca doktorska. Politechnika Śląska. Gliwice 1963.
5. Schneebeli G.: Une analogie mecanique pour l'etude de la stabiliate des ouvrages en terrein a deux dimensions. Proc. IV ICOSMEF, vol. II, London 1975.
6. Stilger-Szydło E.: Posadowienie budowli infrastruktury transportu lądowego. Teoria - Projektowanie - Realizacja. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2005.
7. Szczeciński W.: Stany graniczne i kinematyka ośrodków sypkich. PWN, Warszawa 1974.
8. Kłosek K.: Use of Analog Ground Medium of Taylor-Schneebeli Type for Modelling of Multiparametric Deformations Aristing in Mining-Influenced Areas. Proc. 13th Conf. of American Society for Surface Mining and Reclamation, Knoxville,Tennessee-USA, 1966 p. 134-145.

Recenzent: Dr hab. inż. Leszek Litwinowicz, prof. Politechniki Lubelskiej